

*А.Т. ЛЕБЕДЕВ, М.Л. ШУЛЯК, А.М. СТЕЛЬМАХ*

## **АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ОЦІНКИ ТЯГОВИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТРАКТОРА**

В роботі проведено аналіз методів та засобів оцінки тягових властивостей трактора обґрунтовано, що найбільш перспективним методом оцінки тягово-швидкісних властивостей трактора є спосіб, оснований на вимірюванні його прискорень при русі на гоні. На основі результатів експериментальних досліджень зроблено висновок про необхідність теоретичного дослідження ефективності баластування трактора.

**Ключові слова:** трактор, тягові властивості, вимірювання, методи, засоби, буксування, баластування

*A. LEBEDEV, M. SHULIAK, A. STELMAKH*

## **ANALYSIS OF METHODS AND DEVICES FOR EVALUATION OF THE TRACTION PROPERTIES TRACTOR**

The article presents analysis of the methods and means of evaluating of the traction properties tractor. In the previous researches, it was propose to evaluate of the traction properties tractor on their supporting-coupling properties without taking into account the stochastic modes of exploitation and modes of operation. Experimental methods of definitions the traction of tractor require conducting a large number of experiments. Therefore, it is necessary to carry out an analysis of the methods and the means of improving the results of the definitions of the traction of tractor and justify ways to increase the speed of their implementation

The conducted analysis made it possible to justify, that method evaluating the traction properties of tractor on the measurement of its accelerations on moving is the best method.

Based on the results of experimental research, a conclusion was made about the need for a theoretical research of the effectiveness of tractor ballasting.

**Keywords:** tractor, traction properties, measurements, methods, tools, towing, ballasting

### **Вступ.**

Трактор є основним елементом енерготехнологічного комплексу аграрного виробництва, на основі якого формуються агрегати різного технологічного призначення. Тягові властивості трактора визначають ступінь його пристосованості, як тягового засобу, або приведення в дію приєднаних до нього сільськогосподарських машин. Теоретичні питання оцінки тягових властивостей базуються на визначні тягового ККД трактора, який дозволяє оцінити частину потужності ДВЗ, що витрачається на рух трактора. В відомих дослідженнях запропоновано оцінювати тягові властивості за їх опорно-зчіпними властивостями без врахування стохастичних умов експлуатації та режимів робочого ходу. Експериментальні методики визначення тягово-швидкісних властивостей трактора передбачають виконання великого обсягу досліджень. Тому необхідно провести аналіз методик та засобів відповідних досліджень з обґрунтуванням напрямків подальшого удосконалення та збільшення швидкості їх проведення.

### **Аналіз останніх досягнень і публікацій.**

Основним елементом енерготехнологічного комплексу сільськогосподарського виробництва, на основі якого комплектуються агрегати різного технологічного призначення, звичайно ж є трактор. Його тягові властивості визначають потенційні можливості трактора, як тягового засобу або приведення в дію приєднаних до нього сільськогосподарських машин [1, 2]. Вперше теоретичні питання оцінки тягових властивостей трактора були відображені у роботі Судакова А.Н. «Тракторы (Трактори)» (1917 р.), в якій поряд з описанням різних конструкцій викладено ряд теоретичних висновків про вплив деяких факторів на ККД трактора та інші положення. Визначення поняття ККД трактора в цій роботі – «Это доля мощности двигателя, расходуемая на движение трактора (Це частка потужності двигуна, що витрачається

на рух трактора)». Це визначення більше ста років є основою оцінки тягового ККД трактора тягової концепції.

В основі відомих досліджень і публікацій [1, 3] запропоновано оцінювати тягові властивості тракторів за їх опорно-зчіпними властивостями без врахування умов експлуатації та режимів робочого ходу. Ця методика обґрунтування тягово-швидкісних властивостей трактора передбачає виконання великого об'єму експериментальних робіт за стабільного руху на гоні. Вітчизняні нормативні документи [4] і методика випробувань сільськогосподарських тракторів за Кодексом 2 ОЕСР [5] регламентують необхідність врахування опору кочення та частки ваги трактора, що приходить на ведучі колеса при виконанні технологічної операції. Рішення даних задач особливо актуально при баластуванні трактора [6].

#### **Мета та постановка задачі.**

Метою є аналіз публікацій з оцінки тягових властивостей трактора та обґрунтування перспективних методів їх розвитку. Дослідження ефективності баластування, як одного із способів підвищення тягово-швидкісних властивостей трактора.

#### **Результати досліджень.**

В Україні тягові випробування трактора регламентовані державними стандартами ДСТУ ISO 789-9 і ДСТУ 7416 [7, 8]. Найбільш близькі до дійсності дані з тягових показників трактора можуть бути отримані шляхом його випробувань в польових умовах на двох основних ґрунтових фонах: стерня з під озимих колосових культур та поле, яке підготовлено під посів [9]. Крім того, для колісних тракторів обов'язковими мають бути випробування на треку з бетонною поверхнею, для гусеничних на глинястій ущільненій дорозі. Вологість ґрунту на глибині 10...16 см має бути у межах 8...22 %, а її твердість – 1,0...1,5 кПа – на стерні; 0,7...1,0 кПа – на полі, яке підготовлено під посів.

Схил ділянки поля має не перевершувати 2° у будь-якому напрямку. Показники знімаються при випробуваннях на ділянках поля довжиною не менше 50 м під час руху трактора зі швидкістю до 2,5 м/с і не менш 80 м при швидкості більше 2,5 м/с. Зняття тягових характеристик вміщує в себе проведення серії випробувань з різноманітним навантаженням на гаку трактора. Випробування проводяться послідовно на всіх передачах. Для кожної передачі проводяться 12-14 випробувань, у тому числі 5-6 з недовантаженням, 3-5 випробувань для визначення максимальної тягової потужності, 3-4 – режимах перевантаження.

Кожний прохід трактора, що дорівнює заданому навантаженню, має здійснюватися по новому сліду. Для достовірності даних кожне випробування проводиться з не менш, як у 3-кратній повторності.

При тягових випробуваннях трактор завантажується спеціальним динамометричним візком, який обладнаний гальмівним пристроєм, що дозволяє утворювати змінний опір коченню та забезпечити завантаження трактора в широкому діапазоні тягових зусиль. Як завантажувальний пристрій можна також застосовувати трактори, рівень опору пересування яких регулюється зміною подачі палива та переключенням передач. Під час зняття характеристики синхронно вимірюють та реєструють наступні параметри:  $P_T$  – тягове зусилля трактора;  $t_m$  – час виконання випробування;  $G_T$  – витрата палива за час дослідження;  $S_T$  – шлях, пройдений трактором за час випробування;  $n_l$ ,  $n_{пр}$  – кількість обертів лівого та правого ведучих коліс.

Згідно отриманих значень будують тягову характеристику трактора, що являє собою графічну залежність основних показників від зміни тягової сили на гаку:

$$V, N_z, \delta, \eta_T, G_T, q_z = f(P_T), \quad (1)$$

де  $V$  – робоча швидкість руху;  $N_z$  – тягова потужність;  $\delta$  – буксування ведучих коліс;  $\eta_T$  – тяговий ККД трактора;  $G_T$  – годинна витрата палива;  $q_z$  – питома гакова витрата палива.

Зараз, під час випробувань широко використовується електронний *вимірювально-реєстраційний комплекс* [9], який включає в себе: підсилювач сигналу тензоланки, аналого-цифровий перетворювач (АЦП) та електронно-обчислювальну машину (ЕОМ), або персональний комп'ютер (ПК) з необхідним програмним забезпеченням. Дані у цифровій формі відображаються на екрані ПК, а також є можливість передачі їх на друкуючий пристрій. Цей вимірювальний комплекс дозволяє проводити тягові випробування тракторів по часу, передавати середні результати замірів на 16 аналогових і 16 дискретних каналах.

У якості датчика для заміру тягового зусилля вимірювального комплексу на осі випробуваного колеса використовується тензоланка 1 з наклеєними з внутрішньої сторони датчиками розтягу 3 та стиску 4. Датчики з'єднанні по мостовій схемі (рис. 1).

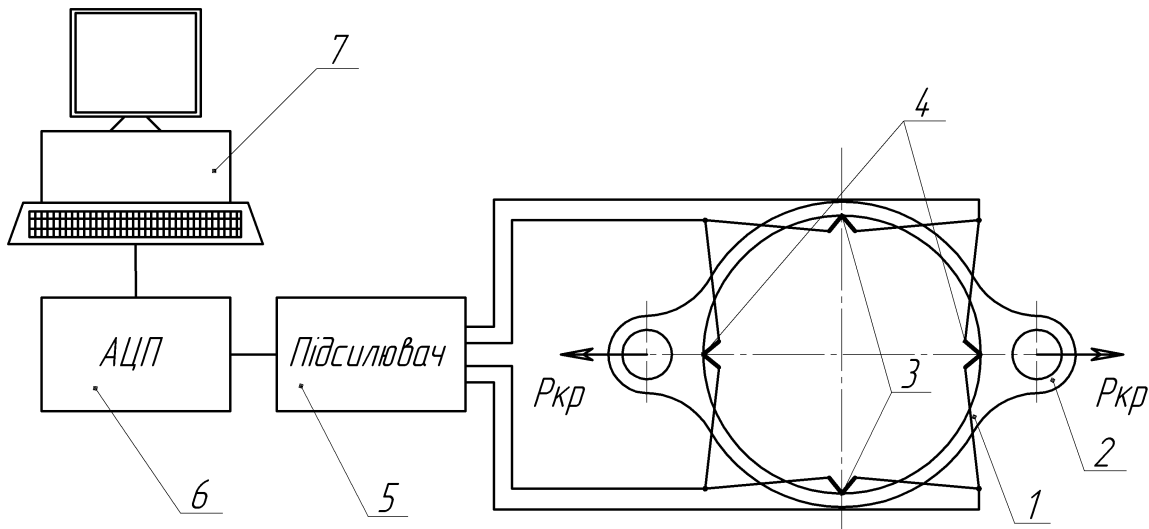


Рис. 1 – Тензометрична ланка:

1 – корпус; 2 – серга; 3 – тензорезистори розтягу; 4 – тензорезистори стиску; 5 – підсилювач сигналу тензоланки; 6 – аналогово-цифровий перетворювач; 7 – персональний комп'ютер

Принцип роботи тензометричної ланки: в одну діагональ подається живлення, друга діагональ включена до підсилювача 5, далі до аналогово-цифрового перетворювача 6 та дані в цифровій формі передаються на ПК 7.

Для тарування тензоланки використовується зразковий динамометр 2, реєстрування кута повороту колеса при оцінці буксування трактора використовується 4-х пелюстковий переривник з датчиком Хола [9].

Для вимірювання максимальної сили тяги на гаку трактора ефективний гідромеханічний пристрій для тягових випробувань (рис. 2) [10].

При силовому впливі на провину 5 (додані сили показані стрілками) диск 4 переміщається в осьовому напрямку відносно диска 1 і діє через штовхач 3 і поршень 8 на камеру 11. В результаті у камері 11 створюється надлишковий тиск, який фіксується манометром 2 і датчиком 10. Після зняття навантаження гідромеханічна система повертається у вихідне положення під дією релаксації.

Даний пристрій має покращені експлуатаційні властивості. Він оснащений виносним манометром, який може бути розміщений в будь-якому зручному місці, наприклад в кабіні машини, що випробовується. Крім того, пристрій має датчик тиску, який видає електричний сигнал і дозволяє, таким чином, використовувати комп'ютер для автоматичного запису всього процесу випробувань в потрібній користувачеві формі. До переваг даного пристрою також слід

віднести його високу конструктивну надійність: герметична камера стиснення виконана з гуми. При цьому пристрій має просту конструкцію.

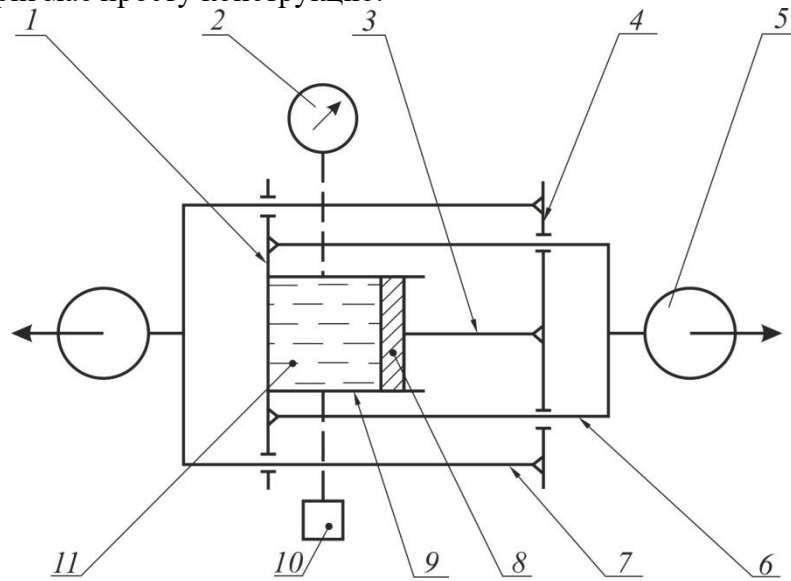


Рис. 2 – Гідромеханічний пристрій для вимірювання сили тяги на гаку трактора:  
1, 4 – диски; 2 – манометр; 3 – шток; 5 – провушина; 6, 7 – шпильки;  
8 – поршень; 9 – циліндр; 10 – датчик тиску; 11 – камера

Максимальну силу тяги на гаку можна визначити на стаціонарі в режимі рушення трактора з місця без запасу ходу силової ланки тягового пристрою або з обмеженим запасом ходу або з достатнім запасом ходу силової ланки тягового пристрою (рис. 3) [11].

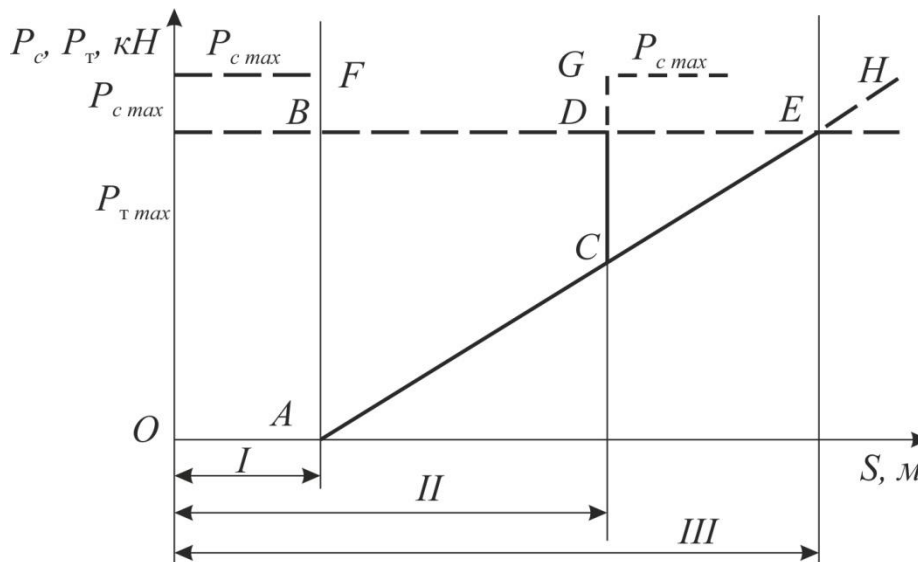


Рис. 3 – Графік визначення максимальної сили тяги на гаку трактора

На рисунку зображений спосіб визначення максимальної сили тяги на гаку трактора. Показано об'єднаний графік залежності сили тяги на гаку трактора  $P_T$  і сили опору тягового пристрою  $P_c$  від ходу  $S$  (переміщення) трактора при русі з місця, де  $P_{T \max}$  та  $P_{c \max}$  – максимальні значення  $P_T$  і  $P_c$ . При чому  $P_{c \max}$  завжди більше  $P_{T \max}$ .

Лінії на графіку позначені літерами OAB, OACD й OACE є функціями  $P_T$  від  $S$ ; OABF і OAEN – функції  $P_c$  від  $S$ . Проілюстровано графічно три варіанти визначення максимальної сили тяги на гаку в режимі руху трактора з місця: I – без запасу ходу силової ланки тягового пристрою; II, III – відповідно з обмеженим і достатнім запасом ходу силової ланки тягового пристрою.

Забезпечують силу опору тягового пристрою значно перевищуючої максимально можливе значення сили тяги на гаку трактора (на рис. 3 лінія  $P_{c\max}$  вище лінії  $P_{T\max}$ ), а також достатню силу зчеплення ходової частини трактора з опорною поверхнею. Важіль керування подачею палива переміщають у крайнє нижнє положення (на максимальну подачу палива). Виключають муфту зчеплення, встановлюють важіль перемикаччя передач у положення, що відповідає потрібній включеній передачі. Процес випробування на даному етапі проходить по лінії OA при  $P_T = 0$ , після запуску двигуна величина AB різко зростає. При виявленні початку нестійкої роботи двигуна (у точці B) процес випробування на даній передачі завершується ( $P_T$  відповідає максимальному значенню). Максимальну силу на гаку трактора на даній передачі визначають за показниками динамографа або вимірювально-реєстраційного комплексу. При необхідності вимірювання сили тяги повторюють або визначають силу тяги на гаку трактора, випробовуючи її на іншій передачі.

При тягових випробуваннях трактора [7] максимальне тягове зусилля повинно обмежуватися початком нестійкої роботи двигуна або буксуванням, граничне значення якого повинно бути на треках не більше 7 % – для гусеничних і 15 % – для колісних тракторів і гусеничних з еластичною (гумовою) гусеницею, а на ґрунтових фонах – 15 % і 30 % відповідно.

Максимальна тягова потужність повинна бути визначена не менше чим на шести передачах, починаючи з передачі, що відповідає швидкості руху трактора близько 16 км/год., і закінчуючи передачею, на якій допускається розвивати максимальне тягове зусилля, не перевищуючи визначену нормативами межу буксування. Якщо трактор має безступінчасту трансмісію, тоді випробування слід проводити при шести значеннях передавальних чисел коробки передач, рівномірно розподілених у діапазоні швидкостей і тягових зусиль.

*Визначення тягового діапазону* [9]. Трактор має виконувати всі роботи, які відповідають його тяговому класу, і деяку частину робіт, що належать до тягової зони сусіднього з ним попереднього класу. Перекриття тягових зон дозволяє виконувати деякі роботи тракторам сумісних класів, що розширює сферу їх застосування. Тягові властивості визначаються максимальними та мінімальними тяговими зусиллями, при яких забезпечуються допустимі значення тягового ККД і економічної ефективності. З метою спрощення розрахунків введені наступні основні поняття:

– розрахункове тягове зусилля  $P_{T,роз}$  – це максимальне зусилля на гаку, яке розвиває трактор на першій передачі при буксуванні ведучих коліс не більше 17 % для колісних і 6 % для гусеничних тракторів;

– мінімальне тягове зусилля  $P_{T,min}$  – це зусилля на гаку, яке розвиває трактор на вищій робочій передачі.

Тягове зусилля, на яке має бути розрахований трактор і яке слід використовувати:

$$P_{T,роз} = K_i P_{T,n}, \quad (2)$$

де  $K_i$  – коефіцієнт запасу за тягою:  $K_i = 1,25 \dots 1,3$  для колісних тракторів тягового класу 3,  $K_i = 1,1 \dots 1,15$  для колісних вище за клас 3 і гусеничних тракторів;  $P_{T,n}$  – номінальне тягове зусилля на гаку проектного трактора, яке визначається тяговим класом за типажем.

Мінімальне тягове зусилля, що розвивається трактором на вищій передачі, приймають рівним номінальному тяговому зусиллю для попереднього тягового класу на даному ґрунтовому фоні:

$$P_{T.min} = P'_{T.H} \quad (3)$$

Відношення розрахункового тягового зусилля до мінімального називають розрахунковим тяговим діапазоном трактора та визначають за формулою:

$$D_T = P_{T.роз} / P_{T.min} = K_{i T.H} P'_{T.H} \quad (4)$$

Для тракторів, що не належать до типу та не пов'язані з іншими класами (спеціальні, промислові та ін.), слід приймати  $D_T = 2$ .

*Визначення тягово-потужнісних властивостей трактора.* Тракторний агрегат, який рухається або виконує агротехнічні операції, є автономною динамічною системою, основні зовнішні впливи на яку, призводять до зміни сил опору руху і зміни кількості енергії, що використовується на переміщення. При оцінці тягово-потужнісних властивостей трактора у складі машинно-тракторного агрегату ефективний метод парціальних прискорень [12], який базується на рішенні зворотної задачі динаміки: при відомому прискоренню агрегату оцінюються тягово-потужнісні властивості трактора.

Запропоновано оцінювати тягове зусилля на ведучих колесах  $P_T$  і на гаку  $P_{ГК}$  трактора за залежностями:

$$P_T = (m_T + m_{сг}) \left[ \dot{v}_T(v) - \dot{v}_T^B(v) \right], \quad (5)$$

$$P_{ГК} = m_T \left[ \dot{v}_{Tf}(v) - \left( 1 + \frac{m_T}{m_{сг}} \right) \dot{v}_T^B(v) \right], \quad (6)$$

де  $m_T$ ,  $m_{сг}$  – маса трактора і сільгоспмашини, відповідно;  $\dot{v}_T(v)$ ,  $\dot{v}_T^B(v)$  – лінійні прискорення агрегатів при розгоні і вибігу (вимкнена муфта зчеплення, нейтральна передача трансмісії) відповідно;  $\dot{v}_{Tf}(v)$  – прискорення трактора при дії тільки сили опору коченню на колесах.

Таким чином, для визначення  $P_T$  за відомих  $m_T$ ,  $m_{сг}$  оцінюється різниця  $\dot{v}_T(v)$  і  $\dot{v}_T^B(v)$ ; при визначенні  $P_{ГК}$  оцінюється прискорення розгону трактора за дії тільки опору коченню на колесах.

При відомій швидкості трактора оцінюється ефективна потужність двигуна  $N_e(v) = P_T v_T$  і потужність на гаку трактора  $N_{ГК}(v) = P_{ГК} v_T$ .

Оскільки  $P_T$  відповідає силі тяги на ведучих колесах трактора без урахування втрат на тертя в трансмісії при швидкості руху агрегату  $V_{ар}$  ефективну потужність двигуна можна оцінити за залежністю

$$N_e(V) = P_T V_{ар} = (m_T + m_{сг}) V \left[ \dot{V}_{ар}(V) - \dot{V}_{арв}(V) \right] \quad (7)$$

При виконанні агрегатом певної технологічної операції потужність на гаку трактора визначається за залежністю:

$$N_{ГК}(V) = P_{ГК} V_{ар} = m_{ар} V_{ар} \left[ \dot{V}_{Tf}(V) - \left( 1 + \frac{m_{сг}}{m_{ар}} \right) \dot{V}_{арв}(V) \right] \quad (8)$$

По співвідношенню  $N_{ГК}(v)$  та  $N_e(v)$  оцінюється тяговий ККД трактора

$$\eta_T(V) = \frac{N_{ГК}(V)}{N_e(V)} = \frac{\dot{V}_T^f(V) - \dot{V}_T^B(V)}{\dot{V}_T(V) - \dot{V}_T^B(V)} \quad (9)$$

Оцінка тягового ККД трактора з відомою масою  $m_T$  при агрегуванні з сільськогосподарською машиною  $m_{сг}$  виконується шляхом порівняння прискорень

тракторного агрегату при розгоні та вільному вибігу  $\dot{V}_T(V)$  з вільним вибігом одиночного трактора  $\dot{V}_T^B(V)$  під дією тільки сили опору коченню на колесах трактора  $\dot{V}_T^f(V)$ .

*Визначення буксування рушіїв трактора.* За відомими методиками [7, 14] буксування коліс трактора рекомендується визначати за рахунок визначення швидкості обертання коліс та робочої швидкості трактора (рис. 4).

Пристрій працює наступним чином. При русі трактора інформація від датчика поздовжнього прискорення 7 поступає на вхід блоку інтегрування 4 модуля порівняння 3, який здійснює оброблення сигналу у часі з деяким заданим інтервалом.

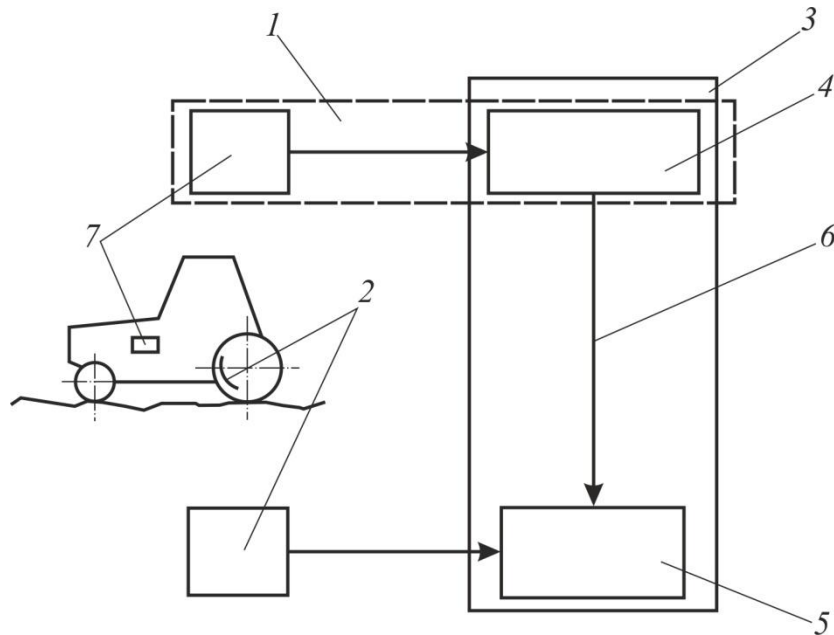


Рис. 4. Схема пристрою визначення величини буксування рушіїв трактора

1 – датчик дійсної швидкості; 2 – датчик кутової швидкості ведучого колеса трактора; 3 – модуль порівняння; 4 – блок інтегрування; 5 – блок порівняння; 6 – лінія зв'язку; 7 – датчик поздовжнього прискорення трактора. Блок інтегрування 4 обробляє цей сигнал і визначає дійсну швидкість машини за виразом

$$v_d(t) = v_d(t - \Delta t) + j(t)\Delta t, \quad (10)$$

де  $v_d(t - \Delta t)$  – дійсна швидкість трактора, встановлена в попередньому кроці відліку в момент часу  $t$ ;  $j(t)$  – прискорення корпусу трактора в момент час  $t$ ;  $\Delta t$  – часовий інтервал між вимірюваннями.

У подальшому значення  $v_d(t)$  по лінії 6 поступають на блок порівняння 5, на який одночасно поступає інформація від датчика 2 теоретичної швидкості (наприклад, вимірюється частота обертання ведучого колеса). Поступальна теоретична швидкість  $v_t$  завжди пропорційна кутовій  $w(t)$  (наприклад, ведучого колеса) і відрізняється на величину радіуса кочення колеса  $r$ :

$$v_t(t) = w(t)r. \quad (11)$$

Одночасно блок порівняння 5 здійснює оброблення отриманої інформації і вираховує величину буксування у відповідності з виразом:

$$\delta(t) = \frac{v_t(t) - v_d(t)}{v_t(t)}. \quad (12)$$

Даний пристрій у порівнянні з відомими дозволяє спростити процедуру визначення величини буксування, підвищити швидкодію пристрою і забезпечити безперервний процес вимірювання буксування.

Позитивною якістю даного пристрою є те, що він дозволяє встановити величину буксування трактора при виконанні технологічного процесу, у тому числі при відборі потужності через вал відбору потужності.

Недоліки: не враховується динамічний радіус ведучого колеса, проблематичне його використання при коректуванні напрямку руху трактора.

*Ефективність баластування трактора.* В останній час для підвищення тягових властивостей трактора пропонується підвищення ваги баласту до 100 % від експлуатаційної ваги трактора за декларацією закордонних фірм. Можна погодитися з думкою науковців [15] про сумнівність баластування трактора до 100 % його маси. Позитивному результату його баластування немає ні теоретичного, ні практичного підтвердження.

Ефективність баластування тракторів провідних світових тракторних виробників підтверджується на випробуваннях у тракторній випробувальній лабораторії університету Небраски (США) [16]. Наприклад, на випробуваннях трактора John Deere 8400R Diesel ( $N_e$  – 252,26 кВт, маса баласту – 2678 кг) ефективність баластування доведена для певних швидкостей руху. На швидкостях руху без баласту/з баластом 5,86/5,63 км/год. трактор має тягове зусилля відповідно 131,45/161,59 кН, тобто підвищується на 23 %, на швидкостях 8,53/8,75 км/год. тягове зусилля знижується на 10 %. Отже, застосування баласту ефективно до певного підвищення швидкостей руху.

Ефективність баластування трактора істотно залежить від його роботи на різних агрофонах. Наприклад, при роботі трактора John Deere 6230 ( $N_e$  – 70 кВт,  $m$  – 4390 кг) з баластом ( $m_b$  – 1040 кг) витрати потужності на пересування трактора на стерні колосових культур дорівнюють 7,8 кВт (11,14 % від  $N_e$  двигуна), на полі підготовленому під посів, – 22,6 кВт (32,2 % від  $N_e$  двигуна).

Для тракторів при виконанні технологічного процесу необхідно наукове обґрунтування ефективності баластування від швидкості його руху і агрофону оброблюваного поля.

**Висновки.** Аналіз відомих експериментальних методів і засобів оцінки тягових властивостей трактора показав, що для умов експлуатації найбільш прийнятним є спосіб, який базується на вимірюваннях його прискорень. Тому доцільно вдосконалити класичні теоретичні методи оцінки тягових властивостей з використанням поправочних коефіцієнтів, які визначаються на основі експериментів і дозволяють врахувати стохастичні параметри роботи трактора при виконанні технологічної операції.

Питання баластування трактора, що розглянуто в роботі, як можливий спосіб зменшення буксування і можливості більш повної реалізації потенційних можливостей трактора по двигуну показав необхідність наукового обґрунтування ефективності баластування трактора в залежності від швидкості його руху і агрофону оброблюваного поля.

#### Список літератури:

1. Трактори Теорія. Підручник для студентів вузів / В.В. Гуськов, Н.Н. Велев, Ю.Е. Атаманов і др.; під заг. ред. В.В. Гуськова. М. : Машинобудування, 1988. 376 с.
2. Лебедев А.Т. Сучасні проблеми теорії трактора / А. Лебедев // Техніка і технології АПК. 2021. № 1 (118). С. 20-25.
3. Лебедев А.Т. Наука про трактори: проблеми та рішення. Тракторна енергетика в рослинництві: Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Харків, 2007. Вип. 60. С. 5 – 15.
4. ДСТУ 7463:2013. Сільськогосподарська техніка. Трактори сільськогосподарські. Класифікація показників [Чинний від 2014-01-01]. К., 2013, 11с (національний стандарт України).
5. OECD standard code for the official testing of agricultural and forestry tractor performance. CODE 2. February 2019. URL: <https://www.oecd.org/agriculture/tractors/codes/02-oecd-tractor-codes-code-02.pdf>



6. Ребров О.Ю. Визначення максимального тиску на ґрунт сільськогосподарських шин при різних способах баластування трактора / О.Ю. Ребров // Автомобільний транспорт. 2019. Вип. 45. С. 112-122.
7. ДСТУ ISO 789-9:2019 Сільськогосподарські трактори. Методики випробування. Частина 9. Визначення потужності на зчпному брусі (2019). [Чинний від 2019-11-01]. 2019. 11 с.
8. ДСТУ 7416:2013 Сільськогосподарські та лісогосподарські трактори. Зусилля та опір тягові. Загальні вимоги (2013). [Чинний від 2013-12-11]. К., 2013. 7 с. (Національний стандарт України)
9. Трактори та автомобілі. 4.8. Практикум. Основи теорії та розрахунку тракторів і автомобілів: навч. посібник / В.М. Антощенко, Р.В. Антощенко, М.П. Артьомов, А.Т. Лебедев // За ред. проф. А.Т. Лебедева. Х.: Факт, 2013. 260 с.
10. Пат. 2396535 РФ, МПК G 01 M 17/007 (2006.01). Гидромеханическое устройство для тяговых испытаний машин / Хабардин В.Н. Хабардин С.В., Чубарева М.В., Шелкунова Н.О., Пивкин И.В., Мерзляков А.В.; заявитель и патентообладатель Иркут. гос. с.-х. акад. № 2009134572/11; заявл. 15.09.09; опубл. 10.08.10, Бюл. № 22.25 с.
11. Пат. 2164670 РФ, МПК 7 G 011 5/13. Способ определения максимальной силы тяги на крюке транспортного средства / Хабардин В.Н.; заявитель и патентообладатель Иркут. гос. с.-х. акад. № 96115966/28; заявл. 31.07.96; опубл. 27.03.01, Бюл. №9. 5 с.
12. Артемов Н.П. Метод парциальных ускорений и его приложения в динамике мобильных машин / Н.П. Артемов, А.Т. Лебедев, М.А. Подригало, А.С. Полянский, Д.М. Клец, А.И. Коробко, В.В. Задорожная; под ред. Подригало М. А. Х. : Міськдрук, 2012. 220 с.
13. Лебедев А.Т. Кваліметрія та метрологічне забезпечення випробувань тракторів / А.Т. Лебедев, С.А. Лебедев, А.І. Коробко; Під ред. А.Т. Лебедева. Харків : Вид-во «Міськдрук», 2018. 394 с.
14. Пат. UA 109277, МПК G01M 17/00, G01P 3/00, G01M 15/00 (2016.01). Комбінований вимірювальний комплекс моніторингу буксування і швидкості машинно-тракторних агрегатів / Коробко А. І., Лебедев А.Т., Лебедев С.А., Мальцев В.П., Хлопов Г.І., Шуляк М.Л. ; власник Державна наукова установа «Український науково-дослідний інститут прогнозування і випробування техніки і технологій для сільськогосподарського виробництва імені Леоніда Погорілого» Харківська філія. № u 2016 00396; заявл. 18.01.2016; опубл. 25.08.2016. Бюл. № 16.
15. Надикто В. Нові елементи теорії тягової динаміки та експлуатації колісних тракторів / В. Надикто, В. Кюрчер // Техніка і технології АПК. 2021. № 4 (117). С.21-28.
16. Nebraska Tractor Test Laboratory [Електронне джерело]. Режим доступу до ресурсу: TEST REPORT SEARCH | Tractor Test Lab | Nebraska (unl.edu).

#### References (transliterated):

1. Traktory Teoriia. Pidruchnyk dlia studentiv vuziv / V.V. Huskov, N.N. Velev, Yu.E. Atamanov y dr.; pid zah. red. V.V. Huskova. M. : Mashynobuduvannia, 1988. 376 s.
2. Lebediev A.T. Suchasni problemy teorii traktora / A. Lebediev // Tekhnika i tekhnolohii APK. 2021. № 1 (118). S. 20-25.
3. Lebediev A.T. Nauka pro traktory: problemy ta rishennia. Traktorna enerhetyka v roslynnystvi: Visnyk KhNTUSH im. P. Vasylenka. Kharkiv, 2007. Vyp. 60. S. 5 – 15.
4. DSTU 7463:2013. Silskohospodarska tekhnika. Traktory silskohospodarski. Klasyfikatsiia pokaznykiv [Chynnyi vid 2014-01-01]. K., 2013, 11s (natsionalnyi standart Ukrainy).
5. OECD standardcodefortheofficialtestingofagriculturalandforestrytractorperformance. CODE 2. February 2019. URL: <https://www.oecd.org/agriculture/tractors/codes/02-oecd-tractor-codes-code-02.pdf>
6. Rebrov O.Iu. Vyznachennia maksymalnoho tysku na hrunt silskohospodarskykh shyn pry riznykh sposobakh balastuvannia traktora / O.Iu. Rebrov // Avtomobilnyi transport. 2019. Vyp. 45. S. 112-122.
7. DSTU ISO 789-9:2019 Silskohospodarski traktory. Metodyky vyprovuvannia. Chastyna 9. Vyznachennia potuzhnosti na zchpnomu brusi (2019). [Chynnyi vid 2019-11-01]. 2019. 11 s.
8. DSTU 7416:2013 Silskohospodarski ta lisohospodarski traktory. Zusyllia ta opir tiahovi. Zahalni vymohy (2013). [Chynnyi vid 2013-12-11]. K., 2013. 7 s. (Natsionalnyi standart Ukrainy)
9. Traktory ta avtomobili. 4.8. Praktykum. Osnovy teorii ta rozrakhunku traktoriv i avtomobiliv: navch. posibnyk / V.M. Antoshchenkov, R.V. Antoshchenkov, M.P. Artomov, A.T. Lebediev // Za red. prof. A.T. Lebedieva. Kh.: Fakt, 2013. 260 s.
10. Pat. 2396535 RF, МПК G 01 M 17/007 (2006.01). Hydromekhanycheskoe ustroistvo dlia tiahovukh yspytanyi mashyn / Khabardyn V.N. Khabardyn C.B., Chubareva M.V., Shelkunova N.O., Pyvkyn Y.V., Merzliakov A.V.; zaiavytel y patentoobladatael Yrkut. hos. s.-kh. akad. № 2009134572/11; zaiavl. 15.09.09; opubl. 10.08.10, Biul. № 22. 25 s.
11. Pat. 2164670 RF, МПК 7 G 011 5/13. Sposob opredelenia maksymalnoi syly tiahvy na kriuke transportnogo sredstva / Khabardyn V.N.; zaiavytel y patentoobladatael Yrkut. hos. s.-kh. akad. № 96115966/28; zaiavl. 31.07.96; opubl. 27.03.01, Biul. №9. 5 s.

12. Artemov N.P. Metod partysyalnukh uskorenyi y eho prylozhenia v dynamyke mobylnukh mashyn / N.P. Artemov, A.T. Lebedev, M.A. Podryhalo, A.S. Polianskyi, D.M. Klets, A.Y. Korobko, V.V. Zadorozhnaia; pod red. Podryhalo M. A. Kh. : Miskdruk, 2012. 220 s.
13. Lebediev A.T. Kvalimetriia ta metrolohichne zabezpechennia vyprobuvan traktoriv / A.T. Lebediev, S.A. Lebediev, A.I. Korobko; Pid red. A.T. Lebedieva. Kharkiv : Vyd-vo «Miskdruk», 2018. 394 s.
14. Pat. UA 109277, MPK G01M 17/00, G01P 3/00, G01M 15/00 (2016.01). Kombinovanyi vymiriuvalni kompleks monitorynhu buksuvannia i shvydkosti mashynno-traktornykh ahrehativ / Korobko A. I., Lebediev A. T., Lebediev S. A., Maltsev V. P., Khlopov H. I., Shuliak M. L. ; vlasnyk Derzhavna naukova ustanova «Ukrainskyi naukovodoslidnyi instytut prohnozuvannia i vyprobuvannia tekhniky i tekhnolohii dlia silskohospodarskoho vyrobnytstva imeni Leonida Pohoriloho» Kharkivska filia. № u 2016 00396; zaiavl. 18.01.2016; opubl. 25.08.2016. Biul. № 16.
15. Nadykto V. Novi elementy teorii tiahovoi dynamiky ta ekspluatatsii kolisnykh traktoriv / V. Nadykto, V. Kiurchev // Tekhnika i tekhnolohii APK. 2021. № 4 (117). S.21-28.
16. Nebraska Tractor Test Laboratory [Elektronne dzherelo]. Rezhym dostupu do resursu: TEST REPORT SEARCH | Tractor Test Lab | Nebraska (unl.edu).

*Надійшла (received) 17.12.2022*

*Відомості про авторів / About the Authors*

**Лебедєв Анатолій Тихонович (Lebedev Anatoliy)** – доктор технічних наук, професор, Сумський національний аграрний університет, професор кафедри агроінжинірингу, м. Суми, Україна; ORCID <https://orcid.org/0000-0002-1975-3323>; [tiaxntusg@gmail.com](mailto:tiaxntusg@gmail.com)

**Шуляк Михайло Леонідович (Shuliak Mykhailo)** – доктор технічних наук, професор, Сумський національний аграрний університет, завідувач кафедри агроінжинірингу, м. Суми, Україна; ORCID <https://orcid.org/0000-0001-7286-6602>; [m.l.shulyak@gmail.com](mailto:m.l.shulyak@gmail.com)

**Стельмах Андрій Миколайович (Stelmakh Andriy)** – Сумський національний аграрний університет, аспірант кафедри агроінжинірингу, м. Суми, Україна [Stelmakh@gmail.com](mailto:Stelmakh@gmail.com)